

# 第 11 章

## 控制电气设计

随着电厂生产管理的要求及电气设备智能化水平的不断提高，电气控制系统（ECS）功能得到了进一步扩展，理念和水平都有了更深意义的延伸。将 ECS 及电气各类专用智能设备（如同期、微机保护、自动励磁等）采用通信方式与分散控制系统接口，作为一个分散控制系统中相对独立的子系统，实现同一平台，便于监控、管理、维护，即厂级电气综合保护监控。

## 11.1 控制电气简介

### 【预习重点】

- ☑ 了解控制电路的基本内容。
- ☑ 了解控制电路图的分类及其基本结构。

### 11.1.1 控制电路简介

从研究电路的角度来看,一个实验电路一般可分为电源、控制电路和测量电路 3 部分。测量电路是事先根据实验方法确定好的,可以把它抽象地用一个电阻  $R$  来代替,称为负载。根据负载所要求的电压值  $U$  和电流值  $I$  即可选定电源,一般电学实验对电源并不苛求,只要选择电源的电动势  $E$  略大于  $U$ ,电源的额定电流大于工作电流即可。负载和电源都确定后,就可以安排控制电路,使负载能获得所需的各个不同的电压和电流值。一般来说,控制电路中电压或电流的变化,都可用滑线式可变电阻来实现。控制电路有制流和分压两种最基本接法,两种接法的性能和特点可由调节范围、特性曲线和细调程度来表征。

一般在安排控制电路时,并不一定要求设计出一个最佳方案,只要根据现有的设备设计出既安全又省电,且能满足实验要求的电路就可以了。设计方法一般也不必做复杂的计算,可以边实验边改进。先根据负载的阻值  $R$  要求调节的范围,确定电源电压  $E$ ,然后综合比较采用分压还是制流,确定了  $R$  后,估计一下细调程度是否足够,然后做一些初步试验,看看在整个范围内细调是否满足要求,如果不能满足,则可以加接变阻器,分段逐级细调。

控制电路可分为开环控制系统和闭环控制系统(也称为反馈控制系统)。其中,开环控制系统包括前向控制、程控(数控)、智能化控制等,如录音机的开、关机,自动录放,程序工作等。闭环控制系统则是反馈控制,受控物理量会自动调整到预定值。

反馈控制是最常用的一种控制电路,下面介绍 3 种常用的反馈控制方式。

(1) 自动增益控制 AGC (AVC)。反馈控制量为增益(或电平),以控制放大器系统中某级(或几级)的增益大小。

(2) 自动频率控制 AFC。反馈控制量为频率,以稳定频率。

(3) 自动相位控制 APC (PLL)。反馈控制量为相位,PLL 可实现调频、鉴频、混频、解调、频率合成等。

如图 11-1 所示是一种常见的反馈控制系统的模式。

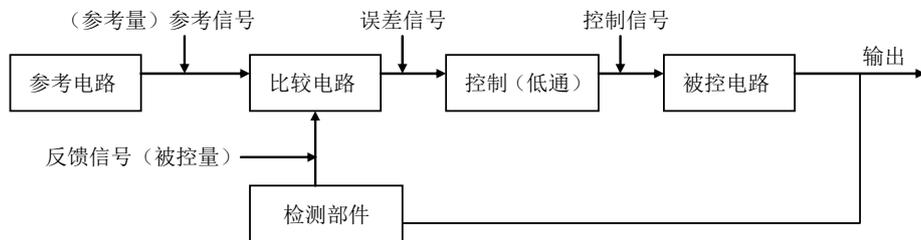


图 11-1 常见的反馈控制系统的模式



观察并分析图纸的结构，绘制出主要的电路图导线，然后绘制出各个电子元件，接着将各个电子元件插入到结构图中相应的位置，最后在电路图适当的位置添加相应的文字和注释说明，即可完成电路图的绘制。绘制水位控制电路图时可以分为供电线路、控制线路和负载线路 3 部分进行。

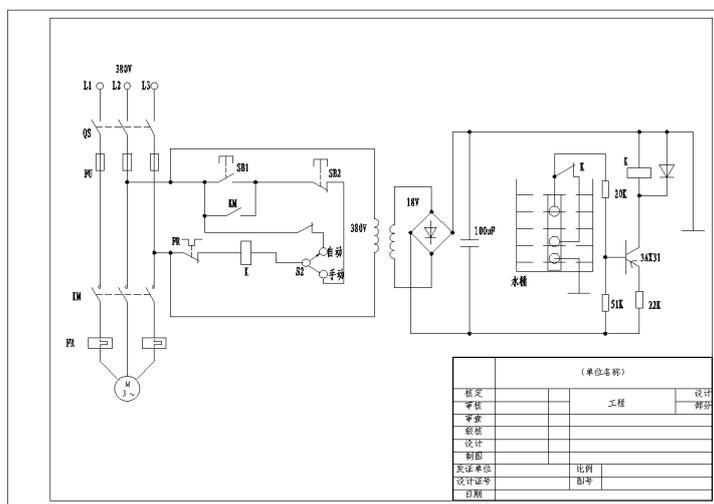


图 11-5 水位控制电路图

【预习重点】

- ☑ 了解水位控制电路图的基本结构。
- ☑ 掌握水位控制电路图的绘制方法。

【操作步骤】

### 11.2.1 设置绘图环境

#### 1. 新建文件

启动 AutoCAD 2015 应用程序，在命令行中输入“NEW”，或选择菜单栏中的“文件”→“新建”命令，系统弹出“选择样板”对话框，在该对话框中选择需要的样板图。单击“打开”按钮，添加图形样板，其中，图形样板左下角端点的坐标为(0,0)。本例选用 A3 图形样板，如图 11-6 所示。

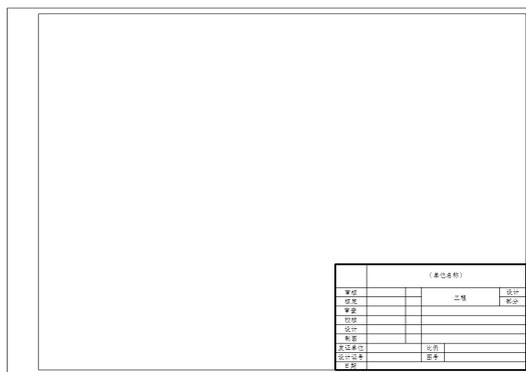


图 11-6 添加 A3 图形样板

## 2. 新建图层

选择菜单栏中的“格式”→“图层”命令，打开“图层特性管理器”选项板，新建 3 个图层，分别命名为“连接线层”、“虚线层”和“实体符号层”，图层的颜色、线型、线宽等属性设置如图 11-7 所示。



图 11-7 新建图层

## 11.2.2 绘制供电线路结构图

### 1. 绘制竖直直线

单击“绘图”工具栏中的“直线”按钮，开启“正交模式”，在绘图区绘制一条长度为 180mm 的竖直直线 AB，命令行提示与操作如下：

---

命令: `_line`  
 指定第一个点: (在任意位置单击)  
 指定下一点或 [放弃(U)]: 180 ✓  
 指定下一点或 [放弃(U)]: ✓

---

### 2. 偏移直线

单击“修改”工具栏中的“偏移”按钮，选择直线 AB 作为偏移对象，输入偏移距离为 16mm，在 AB 的右侧生成竖直直线 CD；采用同样的方法，在直线 CD 右侧绘制一条直线，与直线 CD 的距离为 16mm，命令行提示与操作如下：

---

命令: `_offset`  
 当前设置: 删除源=否 图层=源 OFFSETGAPTYPE=0  
 指定偏移距离或 [通过(T)/删除(E)/图层(L)] <10.0000>: 16 ✓  
 选择要偏移的对象, 或 [退出(E)/放弃(U)] <退出>: (选择直线 AB)  
 指定要偏移的那一侧上的点, 或 [退出(E)/多个(M)/放弃(U)] <退出>: (在直线 AB 右侧单击)  
 选择要偏移的对象, 或 [退出(E)/放弃(U)] <退出>: (选择直线 CD)  
 指定要偏移的那一侧上的点, 或 [退出(E)/多个(M)/放弃(U)] <退出>: (在直线 CD 右侧单击)  
 选择要偏移的对象, 或 [退出(E)/放弃(U)] <退出>: ✓

---

绘制的偏移直线如图 11-8 所示。

### 3. 绘制圆

单击“绘图”工具栏中的“圆”按钮，开启“对象捕捉”模式，捕捉直线 AB 的端点 A 作为圆心，

如图 11-9 所示。绘制半径为 2mm 的圆，命令行提示与操作如下：

---

```
命令: _circle
指定圆的圆心或 [三点(3P)/两点(2P)/切点、切点、半径(T)]: (捕捉直线 AB 的端点)
指定圆的半径或 [直径(D)]: 2✓
```

---

重复“圆”命令，分别捕捉直线 CD 的端点 C 和直线 EF 的端点 E 作为圆心，绘制半径为 2mm 的圆，绘制结果如图 11-10 所示。

#### 4. 修剪圆内直线

单击“修改”工具栏中的“修剪”按钮，将圆内的直线进行修剪，修剪结果如图 11-11 所示。

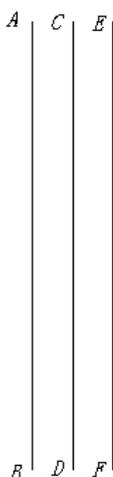


图 11-8 偏移竖直直线

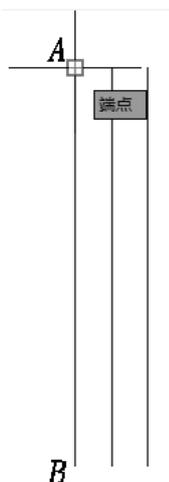


图 11-9 捕捉端点



图 11-10 绘制圆

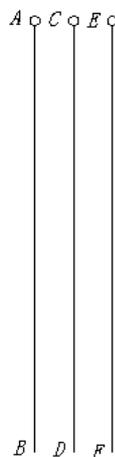


图 11-11 修剪圆内直线

### 11.2.3 绘制控制线路结构图

控制线路结构图主要由水平直线和竖直直线构成，开启“正交模式”和“对象捕捉”模式，可以有效提高绘图效率。

#### 1. 绘制矩形

单击“绘图”工具栏中的“矩形”按钮，绘制一个长为 120mm、宽为 100mm 的矩形，命令行提示与操作如下：

---

```
命令: _rectang
指定第一个角点或 [倒角(C)/标高(E)/圆角(F)/厚度(T)/宽度(W)]:
指定另一个角点或 [面积(A)/尺寸(D)/旋转(R)]: d✓
指定矩形的长度 <100.0000>: 120✓
指定矩形的宽度 <80.0000>: 100✓
指定另一个角点或 [面积(A)/尺寸(D)/旋转(R)]: ✓
```

---

#### 2. 分解矩形

单击“修改”工具栏中的“分解”按钮，将矩形进行分解，命令行提示与操作如下：

命令: \_explode  
 选择对象: 找到 1 个  
 选择对象: ✓

分解结果如图 11-12 所示。

### 3. 绘制直线

单击“修改”工具栏中的“偏移”按钮，在图 11-12 内部绘制水平直线和竖直线，单击“修改”工具栏中的“修剪”按钮和“删除”按钮，编辑如图 11-13 所示的图形。其中，GK=20mm，KL=20mm，LM=30mm，MN=52mm，LO=20mm，MP=20mm，OP=30mm，OQ=PR=10mm，RS=32mm，TH=38mm，TY=62mm，YU=6mm，UV=20mm，SV=18mm，VW=12mm，NX=60mm。

## 11.2.4 绘制负载线路结构图

### 1. 绘制矩形

单击“绘图”工具栏中的“矩形”按钮，在图纸的合适位置绘制长为 100mm、宽为 120mm 的矩形，如图 11-14 所示。

### 2. 分解矩形

单击“修改”工具栏中的“分解”按钮，将矩形进行分解。

### 3. 偏移直线

单击“修改”工具栏中的“偏移”按钮，选择直线 B1D1 作为偏移对象，输入偏移距离为 20mm，在直线 B1D1 的左侧绘制偏移直线 E1F1；按照同样的方法，在直线 E1F1 左侧 30mm 处绘制直线 G1H1。选择直线 A1C1 为偏移对象，输入偏移距离为 10mm，在直线 A1C1 的左侧绘制直线 I1J1，绘制结果如图 11-15 所示。

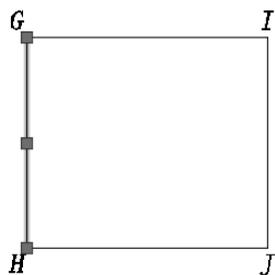


图 11-12 分解矩形

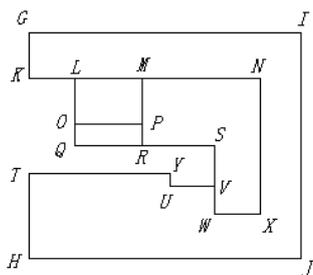


图 11-13 控制线路结构图

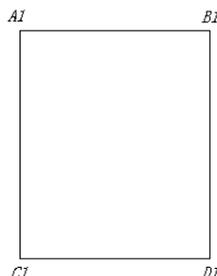


图 11-14 绘制矩形

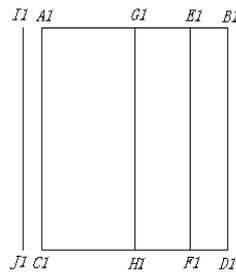


图 11-15 偏移直线

### 4. 绘制连接直线

单击“绘图”工具栏中的“直线”按钮，开启“对象捕捉”模式，绘制直线 I1A1 和直线 J1C1，如图 11-16 所示。

### 5. 绘制正四边形

单击“绘图”工具栏中的“多边形”按钮，开启“正交模式”，输入正多边形的边数为 4，捕捉直线

I1J1 的中点 K1 作为边的一个端点，捕捉直线 I1J1 上的另一点作为该边的另外一个端点，绘制一个正方形，命令行提示与操作如下：

```
命令: _polygon
输入侧面数 <4>: ✓
指定正多边形的中心点或 [边(E)]: E✓
指定边的第一个端点: (捕捉直线 I1J1 的中点)
指定边的第二个端点: <正交 开> (捕捉直线 I1J1 上的另外一点)
```

绘制结果如图 11-17 所示。

### 6. 旋转正四边形

单击“修改”工具栏中的“旋转”按钮, 选择正四边形为旋转对象，指定 K1 点为旋转基点，输入旋转角度为 225°，命令行提示与操作如下：

```
命令: _rotate
UCS 当前的正角方向: ANGDIR=逆时针 ANGBASE=0
选择对象: 找到 1 个
选择对象: ✓
指定基点: <对象捕捉 开> (捕捉 K1 点)
指定旋转角度, 或 [复制(C)/参照(R)] <0>: 225✓
```

旋转结果如图 11-18 所示。

### 7. 拉长直线

选择菜单栏中的“修改”→“拉长”命令，选择直线 C1J1 作为拉长对象，输入拉长的增量为 40mm，将 C1J1 向左侧拉长，命令行提示与操作如下：

```
命令: _lengthen
选择要测量的对象或 [增量(DE)/百分比(P)/总计(T)/动态(DY)] <增量(DE)>: de✓
输入长度增量或 [角度(A)] <20.0000>: 40✓
选择要修改的对象或 [放弃(U)]:
选择要修改的对象或 [放弃(U)]: ✓
```

拉长结果如图 11-19 所示。

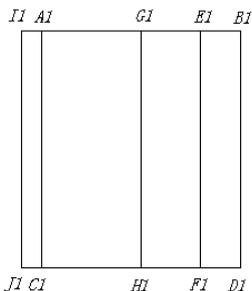


图 11-16 绘制连接直线

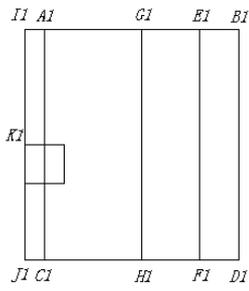


图 11-17 绘制正四边形

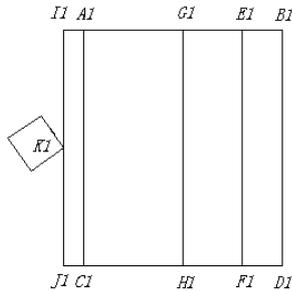


图 11-18 旋转正四边形

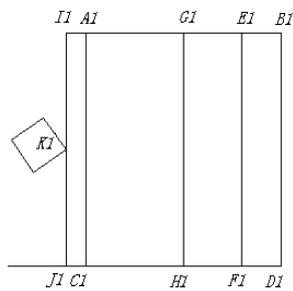


图 11-19 拉长直线

## 8. 绘制多段线

单击“绘图”工具栏中的“多段线”按钮, 开启“正交模式”, 分别捕捉四边形两个对角上的顶点作为多段线的起点和终点, 使得  $L1M1=15\text{mm}$ ,  $M1N1=22\text{mm}$ ,  $N1O1=60\text{mm}$ ,  $O1P1=22\text{mm}$ ,  $P1Q1=15\text{mm}$ , 命令行提示与操作如下:

---

```
命令: _pline
指定起点: (捕捉正四边形的一个顶点)
当前线宽为 0.0000
指定下一个点或 [圆弧(A)/半宽(H)/长度(L)/放弃(U)/宽度(W)]: 15✓
指定下一点或 [圆弧(A)/闭合(C)/半宽(H)/长度(L)/放弃(U)/宽度(W)]: 22✓
指定下一点或 [圆弧(A)/闭合(C)/半宽(H)/长度(L)/放弃(U)/宽度(W)]: 60✓
指定下一点或 [圆弧(A)/闭合(C)/半宽(H)/长度(L)/放弃(U)/宽度(W)]: 22✓
指定下一点或 [圆弧(A)/闭合(C)/半宽(H)/长度(L)/放弃(U)/宽度(W)]: (捕捉正四边形的另外一个顶点)
指定下一点或 [圆弧(A)/闭合(C)/半宽(H)/长度(L)/放弃(U)/宽度(W)]: ✓
```

---

绘制的多段线如图 11-20 所示。

## 9. 绘制直线

单击“绘图”工具栏中的“直线”按钮, 捕捉四边形的端点 R1 作为直线的端点, 捕捉端点 R1 到直线 J1D1 的垂足作为直线的另一个端点, 绘制结果如图 11-21 所示。

## 10. 修剪图形

单击“修改”工具栏中的“修剪”按钮, 选择需要修剪的对象, 修剪掉多余的直线, 修剪结果如图 11-22 所示。

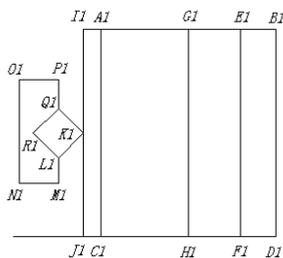


图 11-20 绘制多段线

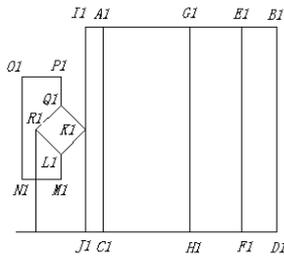


图 11-21 绘制垂直直线

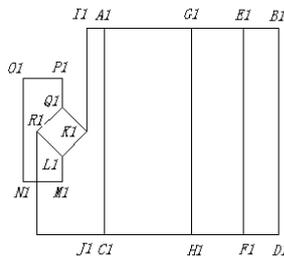


图 11-22 修剪图形

## 11. 绘制矩形

单击“绘图”工具栏中的“矩形”按钮, 以直线 G1H1 为对称中心, 绘制一个长为 8mm、宽为 45mm 的矩形, 如图 11-23 所示。

## 12. 绘制圆形

单击“绘图”工具栏中的“圆”按钮, 在矩形范围内的直线 G1H1 上捕捉圆心, 绘制 3 个半径为 3mm 的圆, 绘制结果如图 11-24 所示。

## 13. 修剪图形

单击“修改”工具栏中的“修剪”按钮, 对图形进行修剪, 修剪结果如图 11-25 所示。

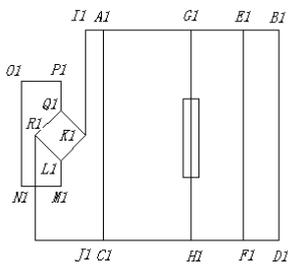


图 11-23 绘制矩形

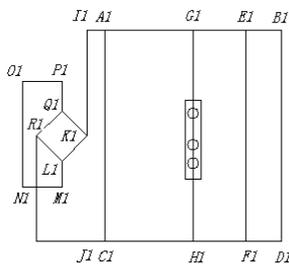


图 11-24 绘制圆

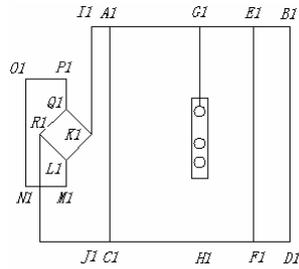


图 11-25 修剪图形

#### 14. 绘制水平直线

单击“绘图”工具栏中的“直线”按钮, 开启“正交模式”和“对象捕捉”模式, 捕捉直线 G1H1 上半段的一个点作为直线的起点, 捕捉该点到直线 E1F1 的垂足作为直线的终点, 绘制结果如图 11-26 所示。

#### 15. 绘制多段线

单击“绘图”工具栏中的“多段线”按钮, 捕捉中间圆的圆心作为起点, 绘制多段线, 如图 11-27 所示。

#### 16. 修剪图形

单击“修改”工具栏中的“修剪”按钮, 将多余的直线修剪掉, 修剪结果如图 11-28 所示。

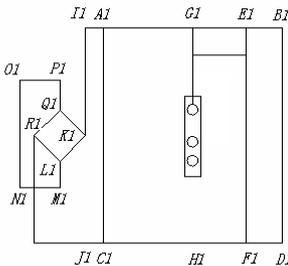


图 11-26 绘制水平直线

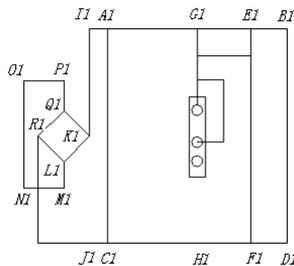


图 11-27 绘制多段线

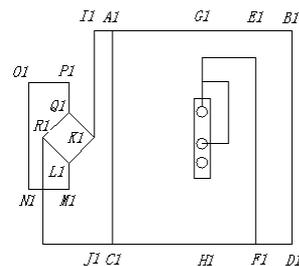


图 11-28 修剪图形

#### 17. 绘制其他图形

按照同样的方法, 绘制线路结构图中的其他图形, 生成的负载线路结构图如图 11-29 所示。

#### 18. 组合图形

将供电线路结构图、控制线路结构图和负载线路结构图进行组合, 生成的线路结构图如图 11-30 所示。

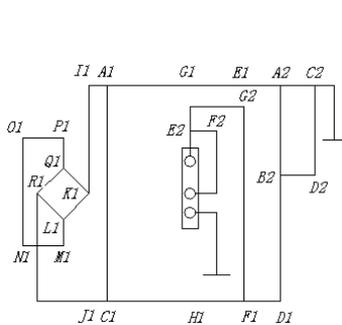


图 11-29 负载线路结构图

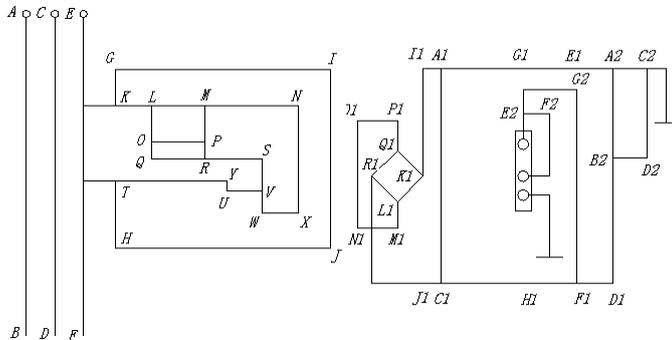


图 11-30 线路结构图

## 11.2.5 绘制电气元件

### 1. 绘制熔断器

- (1) 绘制矩形。单击“绘图”工具栏中的“矩形”按钮, 绘制一个长为 10mm、宽为 5mm 的矩形。
- (2) 分解矩形。单击“修改”工具栏中的“分解”按钮, 将矩形分解。
- (3) 绘制直线。开启“对象捕捉”模式, 单击“绘图”工具栏中的“直线”按钮, 捕捉直线 2 和直线 4 的中点作为直线 5 的起点和终点, 如图 11-31 所示。
- (4) 拉长直线。选择菜单栏中的“修改”→“拉长”命令, 将直线 5 分别向左和向右拉长 5mm, 得到的熔断器符号如图 11-32 所示。

### 2. 绘制开关

- (1) 绘制直线。单击“绘图”工具栏中的“直线”按钮, 开启“正交模式”和“对象捕捉”模式, 依次绘制 3 条长度均为 8mm 的直线, 绘制结果如图 11-33 所示。
- (2) 旋转直线。单击“修改”工具栏中的“旋转”按钮, 关闭“正交模式”, 选择直线 2 并将其旋转, 如图 11-34 所示。

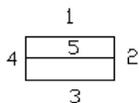


图 11-31 绘制直线



图 11-32 绘制熔断器符号

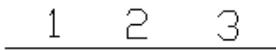


图 11-33 绘制共线直线



图 11-34 旋转直线

- (3) 拉长直线。选择菜单栏中的“修改”→“拉长”命令, 选择直线 2 作为拉长对象, 输入拉长增量为 2mm, 拉长结果如图 11-35 所示。

### 3. 绘制接触器

- (1) 绘制圆。复制图 11-35 中图形, 单击“绘图”工具栏中的“圆”按钮, 选择“两点(2P)”方式, 捕捉直线 3 上的左端点绘制圆, 如图 11-36 所示。
- (2) 修剪图形。单击“修改”工具栏中的“修剪”按钮, 将圆的下半部分修剪掉, 修剪结果如图 11-37 所示, 完成接触器符号的绘制。

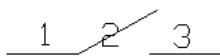


图 11-35 拉长直线



图 11-36 绘制圆

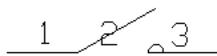


图 11-37 修剪圆

### 4. 绘制热继电器驱动器件

- (1) 绘制矩形。单击“绘图”工具栏中的“矩形”按钮, 绘制长为 14mm、宽为 6mm 的矩形。
- (2) 分解矩形。单击“修改”工具栏中的“分解”按钮, 将矩形分解。
- (3) 绘制直线。单击“绘图”工具栏中的“直线”按钮, 开启“正交模式”和“对象捕捉”模式, 绘制竖直中线, 如图 11-38 所示。
- (4) 绘制多段线。单击“绘图”工具栏中的“多段线”按钮, 在直线 5 上捕捉多段线的起点和终点, 绘制的多段线如图 11-39 所示。
- (5) 拉长直线。选择菜单栏中的“修改”→“拉长”命令, 选择直线 5 作为拉长对象, 输入拉长增量

为 4mm，分别单击直线 5 的上端点和下端点，将直线 5 向上和向下分别拉长 4mm，如图 11-40 所示。

(6) 修剪图形。单击“修改”工具栏中的“修剪”按钮和“打断”按钮，对直线 5 的多余部分进行修剪和打断，绘制的热继电器驱动器件如图 11-41 所示。

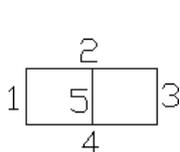


图 11-38 绘制垂直中线

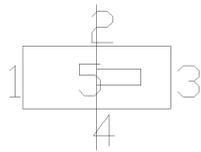


图 11-39 绘制多段线

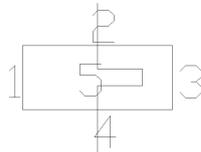


图 11-40 拉长直线

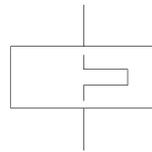


图 11-41 热继电器驱动器件

### 5. 绘制按钮开关（不闭锁）

(1) 绘制开关。按照前面绘制开关的方法绘制如图 11-42 所示的开关。

(2) 绘制垂直直线。单击“绘图”工具栏中的“直线”按钮，在开关正上方的中央位置绘制一条长为 4mm 的垂直直线，如图 11-43 所示。



图 11-42 绘制开关

(3) 偏移垂直直线。单击“修改”工具栏中的“偏移”按钮，输入偏移距离为 4mm，选择直线 4 为偏移对象，分别向两侧进行等距偏移，等距结果如图 11-44 所示。

(4) 绘制水平直线。单击“绘图”工具栏中的“直线”按钮，开启“对象捕捉”模式，分别捕捉直线 5 和直线 6 的上端点作为直线的起点和终点，绘制的水平直线如图 11-45 所示。

(5) 绘制虚线。将线型设为虚线，单击“绘图”工具栏中的“直线”按钮，开启“正交模式”，捕捉直线 4 的下端点作为虚线的起点，捕捉直线 2 上的点作为虚线的终点，绘制虚线，绘制完成的按钮开关如图 11-46 所示。

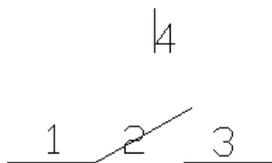


图 11-43 绘制垂直直线

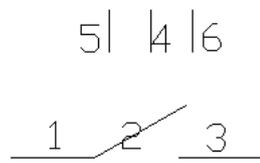


图 11-44 偏移垂直直线

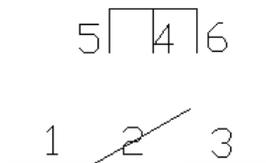


图 11-45 绘制水平直线

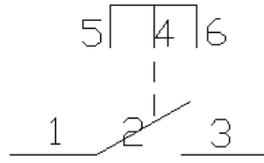


图 11-46 按钮开关

### 6. 绘制按钮动断开关

(1) 绘制开关。按照前面绘制开关的方法，绘制如图 11-42 所示的开关。

(2) 绘制直线。单击“绘图”工具栏中的“直线”按钮，开启“对象捕捉”和“正交模式”，捕捉图 11-42 中的直线 3 的左端点作为直线的起点，绘制一条长度为 6mm 的垂直直线，如图 11-47 所示。

(3) 按照绘制按钮开关的方法绘制按钮动断开关，如图 11-48 所示。



图 11-47 绘制垂直直线

### 7. 绘制热继电器触点

(1) 绘制动断开关。按照上面绘制按钮动断开关的方法，绘制如图 11-49 所示的动断开关。

(2) 绘制直线。单击“绘图”工具栏中的“直线”按钮，开启“正交模式”，在如图 11-49 所示图形的正上方绘制一条长为 12mm 的水平直线，如图 11-50 所示。

(3) 绘制正方形。单击“绘图”工具栏中的“多边形”按钮，输入侧面数 4，在水平直线上捕捉起点和终点绘制正方形，如图 11-51 所示。

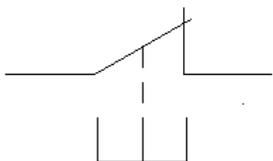


图 11-48 按钮动断开关



图 11-49 绘制动断开关

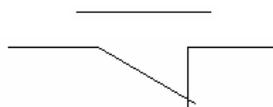


图 11-50 绘制水平直线

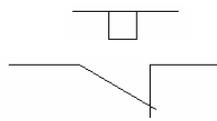


图 11-51 绘制正方形

(4) 修剪直线。单击“修改”工具栏中的“修剪”按钮, 将多余的直线修剪掉, 修剪结果如图 11-52 所示。

(5) 绘制虚线。将线型设为虚线, 单击“绘图”工具栏中的“直线”按钮, 绘制虚线, 完成热继电器触点的绘制, 如图 11-53 所示。

## 8. 绘制水箱

(1) 绘制矩形。单击“绘图”工具栏中的“矩形”按钮, 绘制一个长为 45mm、宽为 55mm 的矩形。

(2) 分解矩形。单击“修改”工具栏中的“分解”按钮, 将矩形进行分解, 如图 11-54 所示。

(3) 删除直线。单击“修改”工具栏中的“删除”按钮, 将直线 2 删除, 结果如图 11-55 所示。

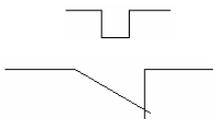


图 11-52 修剪直线

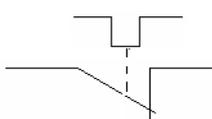


图 11-53 热继电器触点

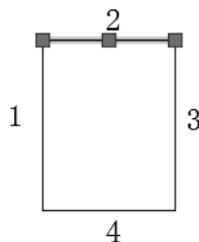


图 11-54 分解矩形

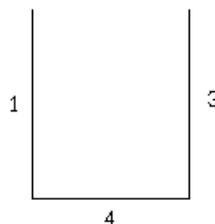


图 11-55 删除直线

(4) 绘制多段虚线。选择菜单栏中的“格式”→“多线样式”命令, 系统弹出“多线样式”对话框, 如图 11-56 所示, 新建一个名为“虚线”的多线样式。单击“继续”按钮, 弹出如图 11-57 所示的“新建多线样式”对话框, 单击“添加”按钮, 添加新的多线属性, 条数设计为 5 条, 分别设计每条直线的线型。选择菜单栏中的“绘图”→“多线”命令, 在直线 1 和直线 3 上分别捕捉一个合适的点作为多段虚线的起点和终点, 完成水箱的绘制, 如图 11-58 所示。



图 11-56 “多线样式”对话框



图 11-57 “新建多线样式”对话框

### 9. 插入交流电动机

需要将如图 11-59 所示的交流电动机符号插入到如图 11-60 所示的导线上，使圆形符号的圆心与导线的端点 D 重合。

(1) 平移图形。单击“修改”工具栏中的“移动”按钮, 开启“对象捕捉”模式，选择交流电动机的图形符号为平移对象，按 Enter 键，捕捉圆心作为移动的基点，捕捉导线的端点 D 作为插入点。

(2) 绘制直线。单击“绘图”工具栏中的“直线”按钮, 开启“正交模式”，在水平方向上分别绘制直线 DB'和 DF', 长度均为 25mm, 绘制结果如图 11-61 所示。

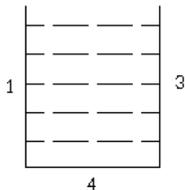


图 11-58 水箱

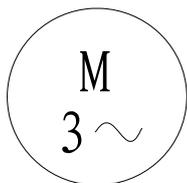


图 11-59 交流电动机

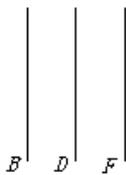


图 11-60 导线

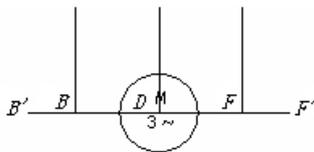


图 11-61 绘制直线

(3) 旋转直线。单击“修改”工具栏中的“旋转”按钮, 关闭“正交模式”，选择直线 DF'为旋转对象，捕捉 D 点作为旋转基点，输入旋转角度为 45°，旋转结果如图 11-62 所示。

(4) 按照同样的方法，将另外一条直线 DB'旋转-45°（顺时针旋转 45°），得到的图形如图 11-63 所示。

(5) 修剪图形。单击“修改”工具栏中的“修剪”按钮, 将图中多余的直线修剪掉，完成电动机插入操作，如图 11-64 所示。

### 10. 插入三极管

将如图 11-65 所示的三极管插入到如图 11-66 所示的导线中。

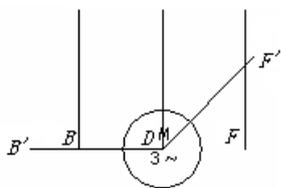


图 11-62 旋转结果

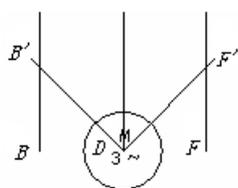


图 11-63 旋转直线 DB'

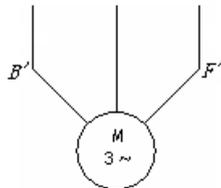


图 11-64 插入电动机

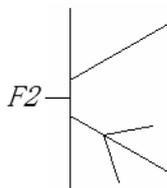


图 11-65 三极管

(1) 平移图形。单击“修改”工具栏中的“移动”按钮, 开启“对象捕捉”模式，捕捉如图 11-65 所示的点 F2 作为移动基点，选择三极管符号作为移动对象，将其移动到如图 11-66 所示的导线处，移动结果如图 11-67 所示。

(2) 继续平移图形。单击“修改”工具栏中的“移动”按钮, 开启“正交模式”，选择三极管为移动对象，捕捉 F2 点作为移动基点，输入位移为 (-5,0,0)，将三极管向左平移 5mm，命令行提示与操作如下：

---

```
命令: _move
选择对象: 指定对角点: 找到 6 个
选择对象: ✓
指定基点或 [位移(D)] <位移>: d✓
指定位移 <0.0000, 0.0000, 0.0000>: -5,0,0✓
```

---

平移结果如图 11-68 所示。

(3) 修剪图形。单击“修改”工具栏中的“修剪”按钮, 将多余的直线修剪掉, 完成三极管的插入, 如图 11-69 所示。



图 11-66 导线 2

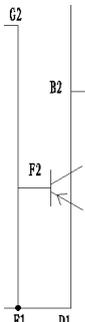


图 11-67 移动三极管符号

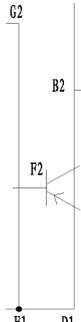


图 11-68 平移结果

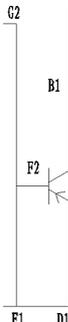


图 11-69 修剪图形

(4) 按照同样的方法, 将其他元器件符号一一插入到线路结构图中, 得到如图 11-70 所示的图形。

(5) 如图 11-71 所示的电路图不够完整, 因为没有标出导线之间的连接情况。下面以如图 11-72 所示的连接点 A1 为例, 介绍导线连接实心点的绘制步骤。

(6) 单击“绘图”工具栏中的“圆”按钮, 开启“对象捕捉”模式, 捕捉点 A1 为圆心, 绘制一个半径为 1mm 的圆, 如图 11-72 所示。单击“绘图”工具栏中的“图案填充”按钮, 在圆中填充 SOLID 图案, 填充结果如图 11-73 所示。

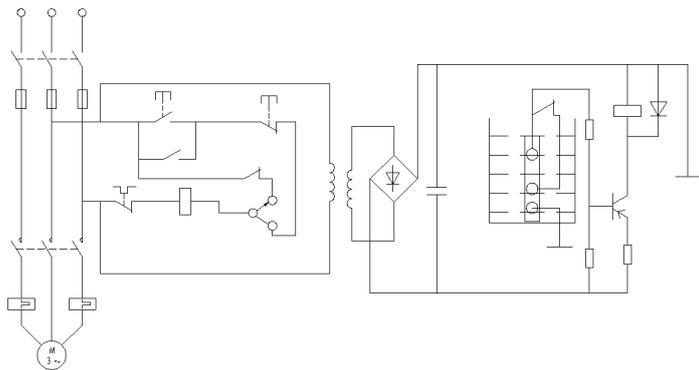


图 11-70 插入其他元器件符号

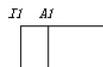


图 11-71 局部导线

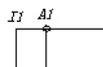


图 11-72 绘制圆

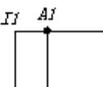


图 11-73 填充圆

(7) 按照同样的方法, 在其他导线节点处绘制导线连接点, 绘制结果如图 11-74 所示。

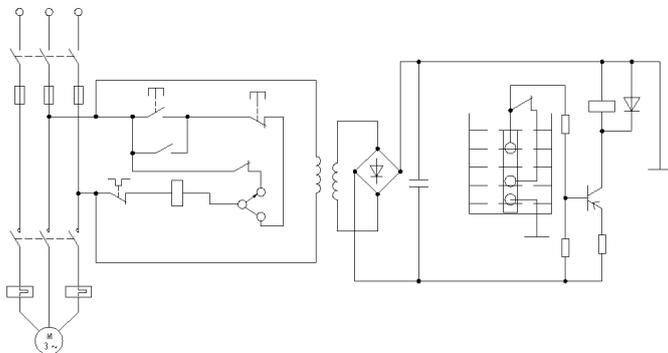


图 11-74 绘制导线连接点

## 11.2.6 添加文字和注释

### 1. 新建文字样式

选择菜单栏中的“格式”→“文字样式”命令，系统弹出“文字样式”对话框，如图 11-75 所示。单击“新建”按钮，弹出“新建样式”对话框，输入样式名“注释”，单击“确定”按钮，返回“文字样式”对话框。在“字体名”下拉列表框中选择“宋体”，设置“宽度因子”为 1，“倾斜角度”为 0，将“注释”样式置为当前文字样式，单击“应用”按钮返回绘图窗口。



图 11-75 “文字样式”对话框

### 2. 添加注释文字

选择菜单栏中的“绘图”→“文字”→“多行文字”命令，在目标位置添加注释文字，如图 11-76 所示，完成水位控制电路图的绘制。

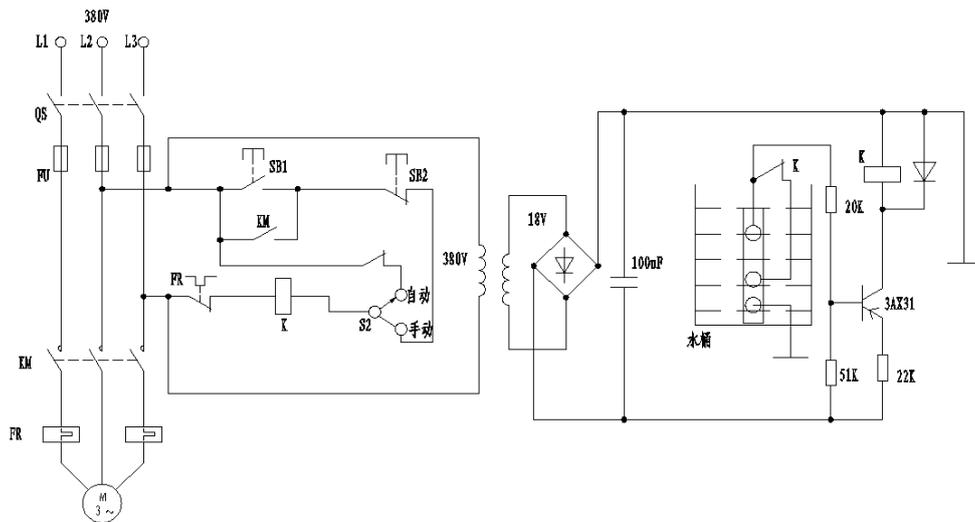


图 11-76 添加注释文字

## 11.3 车床主轴传动控制电路

如图 11-77 所示的电路控制三相电源实现正反转，共有 4 组反向并联晶闸管开关。由于笼型电动机启动电流很大，为了限制电流上升率，在电动机启动时串入电抗器 L，启动完毕后由接触器 KM 将其短接。

C650 车床主轴传动无触点正反转控制电路的大体绘制思路：合上总电源开关 QF，按正转启动开关 SB2，继电器 KA1 线圈得电吸合并自保，其两对常开触点闭合，晶闸管 VT1~VT4 的门极电路被接通，VT1~VT4 导通，电动机 M 经电抗器 L 正转启动。同时继电器 KA1 的另一对常开触点闭合，使时间继电器 KT 得电吸合，经过适当延时，其常开延时闭合触点闭合，使接触器 KM 得电吸合并自保，其主触头闭合，将电抗器 L 短路，启动完毕。同时接触器 KM 的辅助常闭触点断开，使时间继电器 KT 失电释放。按停止开关 SB1，电动机停转。反转控制与正转控制相似。

绘制本图的大致思路如下：首先绘制各个元器件图形符号，然后按照线路的分布情况绘制结构图，将各个元器件插入到结构图中，最后添加文字注释完成本图的绘制。

### 【预习重点】

- 了解车床主轴传动电路图的基本结构。
- 掌握水位控制电路图的绘制技巧。

### 【操作步骤】

### 11.3.1 设置绘图环境

#### 1. 建立新文件

打开 AutoCAD 2015 应用程序，选择菜单栏中的“文件”→“新建”命令，以“无样板打开-公制”创建一个新的文件，将新文件命名为“C650 车床主轴传动无触点正反转控制电路.dwg”并保存。

#### 2. 设置图层

设置以下 3 个图层：“连接线层”、“实体符号层”和“虚线层”，将“实体符号层”设置为当前图层。设置好的各图层的属性如图 11-78 所示。

### 11.3.2 绘制结构图

#### 1. 绘制竖直直线

单击“绘图”工具栏中的“直线”按钮，选择屏幕上合适的位置，以其为起点竖直向下绘制长度为

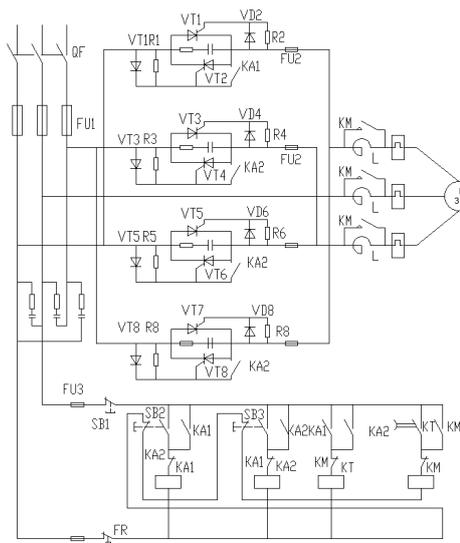


图 11-77 C650 车床主轴传动无触点正反转控制电路

210mm 的直线 1，效果如图 11-79 (a) 所示。

### 2. 偏移直线

单击“修改”工具栏中的“偏移”按钮，将图 11-79 (a) 中的直线 1 依次向右偏移 10mm、10mm、12mm、3mm、86mm、5mm、46mm，得到 7 条竖直直线，结果如图 11-79 (b) 所示。



图 11-78 图层设置

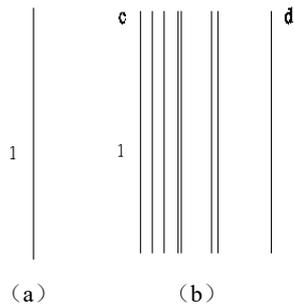


图 11-79 绘制竖直直线

### 3. 绘制水平直线

单击“绘图”工具栏中的“直线”按钮，连接图 11-79 (b) 中的 c 与 d 两点，效果如图 11-80 (a) 所示。

### 4. 偏移水平直线

单击“修改”工具栏中的“偏移”按钮，将图 11-80 (a) 中的直线 cd 依次向下偏移 10mm、40mm、20mm、20mm、40mm、25mm、55mm，得到 7 条水平直线，结果如图 11-80 (b) 所示。

### 5. 修剪图形

单击“修改”工具栏中的“修剪”按钮和“删除”按钮，对图形进行修剪，结果如图 11-81 所示。

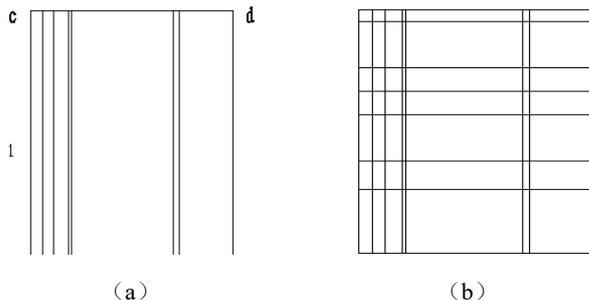


图 11-80 绘制水平直线

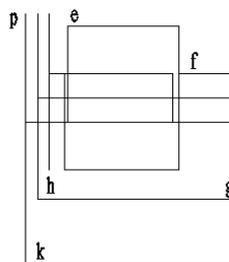


图 11-81 结构图

## 11.3.3 将元器件符号插入到结构图

### 1. 组合图形 1

(1) 复制图形。选择菜单栏中的“文件”→“打开”命令，将“源文件\第 11 章\电气元件”中的二极管

管图形符号、电阻器图形符号、电容器图形符号、晶闸管图形符号、熔断器图形符号、继电器常开触点图形符号复制到当前绘图环境中，结果如图 11-82 所示。

(2) 平移元器件符号。单击“修改”工具栏中的“移动”按钮，在“对象捕捉”绘图方式下，将各个元器件符号摆放到适当的位置，结果如图 11-83 所示。

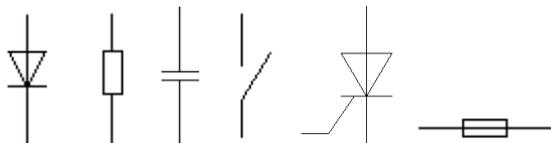


图 11-82 元器件图形符号

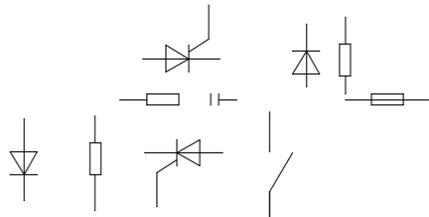


图 11-83 摆放元器件

(3) 连接元器件符号。单击“绘图”工具栏中的“直线”按钮，将图 11-82 中的元器件符号连接起来，结果如图 11-84 所示。

## 2. 组合图形 2

(1) 复制图形。选择菜单栏中的“文件”→“打开”命令，将“源文件\第 11 章\电气元件”中的接触器图形符号、电抗器图形符号、交流电动机图形符号等复制到当前绘图环境中，结果如图 11-85 所示。

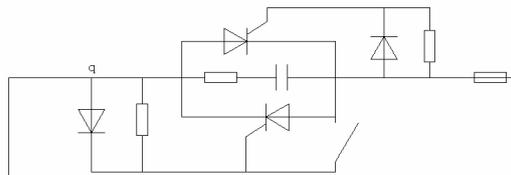


图 11-84 连线图

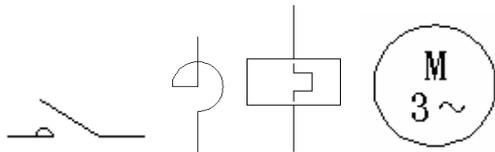


图 11-85 元器件图形符号

(2) 平移元器件符号。单击“修改”工具栏中的“移动”按钮，在“对象捕捉”绘图方式下，将各个元器件符号摆放到适当的位置，结果如图 11-86 所示。

(3) 连接元器件符号。单击“绘图”工具栏中的“直线”按钮，将图 11-86 中的元器件符号连接起来，结果如图 11-87 所示。

## 3. 组合图形 3

(1) 复制图形。选择菜单栏中的“文件”→“打开”命令，将“源文件\第 11 章\电气元件”中的总电源开关图形符号、熔断器图形符号复制到当前绘图环境中，结果如图 11-88 所示。

(2) 连接元器件符号。单击“修改”工具栏中的“移动”按钮，在“对象捕捉”绘图方式下，将各个元器件符号摆放到适当的位置。单击“绘图”工具栏中的“直线”按钮，将图 11-87 中的元器件符号连接起来，结果如图 11-89 所示。

## 4. 组合图形 4

(1) 复制图形。选择菜单栏中的“文件”→“打开”命令，将“源文件\第 11 章\电气元件”中的电容器图形符号、电阻器图形符号复制到当前绘图环境中，结果如图 11-90 所示。

(2) 平移元器件符号。单击“修改”工具栏中的“移动”按钮，在“对象捕捉”绘图方式下，将各个元器件符号摆放到适当的位置，结果如图 11-91 所示。

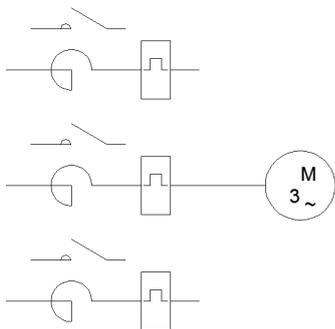


图 11-86 摆放元器件

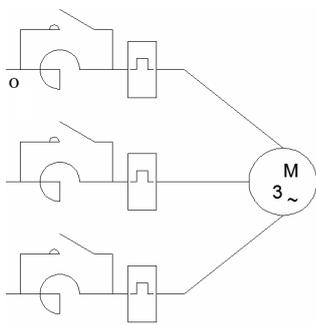


图 11-87 连线图

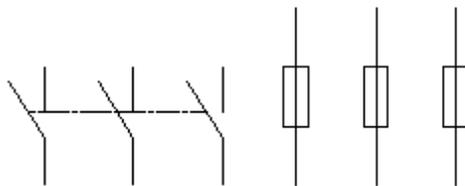


图 11-88 元器件图形符号

(3) 连接元器件符号。单击“绘图”工具栏中的“直线”按钮, 将图 11-19 中的元器件符号连接起来, 结果如图 11-92 所示。

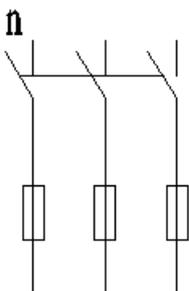


图 11-89 连接元器件符号

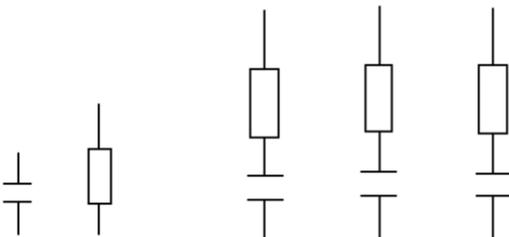


图 11-90 元器件图形符号

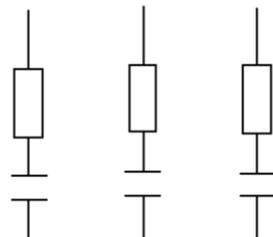


图 11-91 摆放图形符号

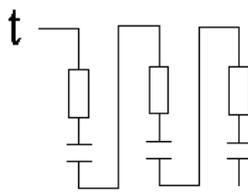


图 11-92 连接线图

### 5. 组合图形

(1) 复制图形。选择菜单栏中的“文件”→“打开”命令, 将“源文件\第 11 章\电气元件”中的接触器常开触点图形符号、接触器常闭触点、启动按钮图形符号等复制到当前绘图环境中, 如图 11-93 所示。

(2) 平移元器件符号。单击“修改”工具栏中的“移动”按钮, 在“对象捕捉”绘图方式下, 将各个元器件符号摆放到适当的位置, 如图 11-94 所示。

(3) 连接元器件符号。单击“绘图”工具栏中的“直线”按钮, 将图 11-94 中的元器件符号连接起来, 结果如图 11-95 所示。

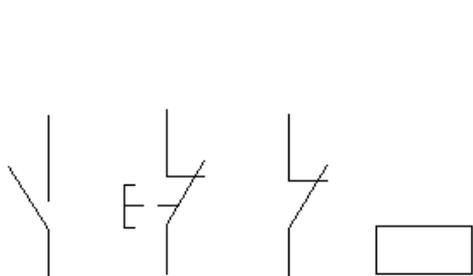


图 11-93 元器件图形符号

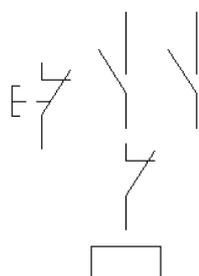


图 11-94 摆放各元器件符号

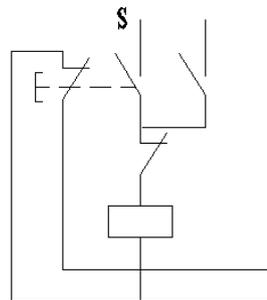


图 11-95 连接线图

### 6. 将组合图形插入到结构图中

(1) 将组合图形 1 插入到结构图中。单击“修改”工具栏中的“移动”按钮, 在“对象捕捉”绘图

方式下,用鼠标捕捉组合图形 1 中的 q 点(如图 11-84 所示),以 q 点作为平移基点,移动鼠标,用鼠标捕捉图 11-96 结构图中的 e 点,以 e 点作为平移目标点,将组合图形 1 平移到结构图中,结果如图 11-96 所示。

单击“修改”工具栏中的“复制”按钮,将上步插入的组合图形 1 依次向下复制 40mm、40mm、40mm 和 40mm,单击“修改”工具栏中的“修剪”按钮,修剪掉多余的直线,结果如图 11-97 所示。

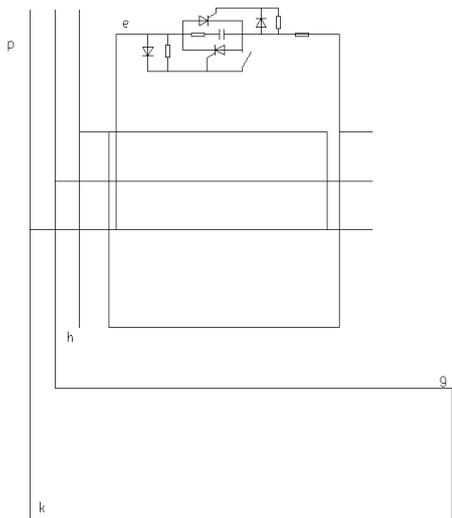


图 11-96 插入组合图形 1

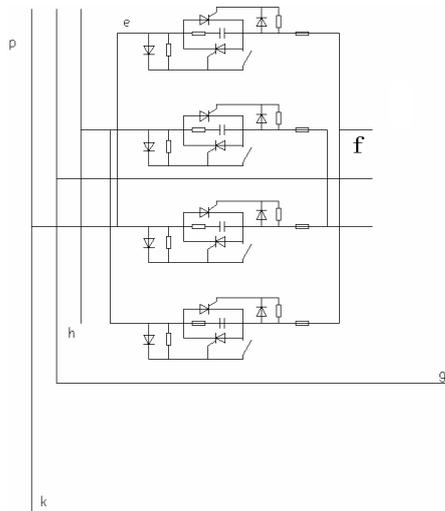


图 11-97 复制组合图形 1

(2) 将组合图形 2 插入到结构图中。单击“修改”工具栏中的“移动”按钮,在“对象捕捉”绘图方式下,用鼠标捕捉图 11-87 中组合图形 2 中的 O 点,以 O 点作为平移基点,移动鼠标,用鼠标捕捉图 11-97 结构图中的 f 点,以 f 点作为平移目标点,将组合图形 2 平移到结构图中来,单击“修改”工具栏中的“修剪”按钮,修剪掉多余的直线,结果如图 11-98 所示。

(3) 将组合图形 3 插入到结构图中。单击“修改”工具栏中的“移动”按钮,在“对象捕捉”绘图方式下,用鼠标捕捉图 11-89 组合图形 3 中的 n 点,以 n 点作为平移基点,移动鼠标,用鼠标捕捉图 11-98 结构图中的 p 点,以 p 点作为平移目标点,将组合图形 3 平移到结构图中来,结果如图 11-99 所示。

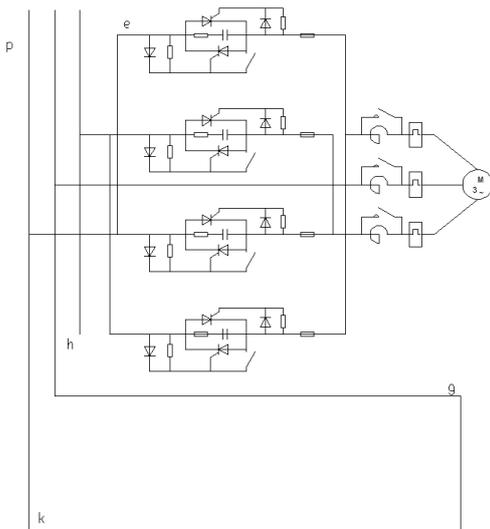


图 11-98 插入组合图形 2

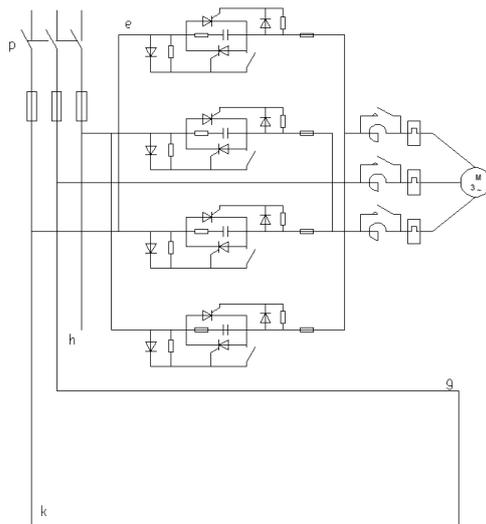


图 11-99 插入组合图形 3

(4) 将组合图形 4 插入到结构图中。单击“修改”工具栏中的“移动”按钮，在“对象捕捉”绘图方式下，用鼠标捕捉图 11-92 组合图形 4 中的 t 点，以 t 点作为平移基点，移动鼠标，用鼠标捕捉图 11-99 结构图中的 k 点，以 k 点作为平移目标点，将组合图形 4 平移到结构图中来。单击“修改”工具栏中的“移动”按钮，将刚插入的组合图形 4 向上移动 110mm，结果如图 11-100 所示。

(5) 将组合图形 5 插入到结构图中。单击“修改”工具栏中的“移动”按钮，在“对象捕捉”绘图方式下，用鼠标捕捉图 11-95 组合图形 5 中的 s 点，以 s 点作为平移基点，移动鼠标，用鼠标捕捉图 11-100 中的 h 点，以 h 点作为平移目标点，将组合图形 5 平移到结构图中来。单击“修改”工具栏中的“移动”按钮，将刚插入的组合图形 5 向右移动 51mm，结果如图 11-101 所示。

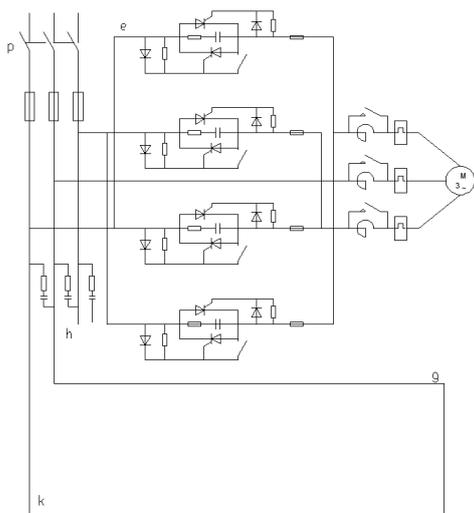


图 11-100 插入组合图形 4

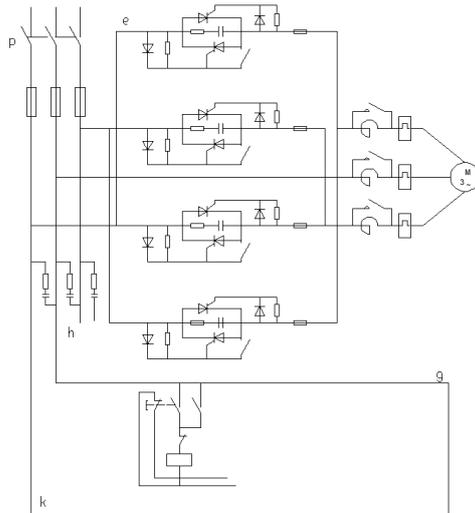


图 11-101 插入组合图形 5

再单击“修改”工具栏中的“复制”按钮，将上步插入的组合图形 5 向右复制 40mm，单击“修改”工具栏中的“修剪”按钮，修剪掉多余的直线，结果如图 11-102 所示。

### 7. 将其他图形符号插入到结构图中

采用相同的方法，单击“修改”工具栏中的“移动”按钮，将其他的元器件图形符号插入到结构图中，结果如图 11-103 所示。

## 11.3.4 添加注释

### 1. 创建文字样式

单击“样式”工具栏中的“文字样式”按钮，打开“文字样式”对话框，创建一个样式名为“车床主轴传动控制电路图”的文字样式。设置“字体名”为“txt”，“字体样式”为“常规”，“高度”为 4，“宽度因子”为 0.7。

### 2. 添加注释文字

单击“样式”工具栏中的“文字样式”按钮，输入几行文字，然后调整其位置，以对齐文字。调整位置时，结合使用“正交”命令。

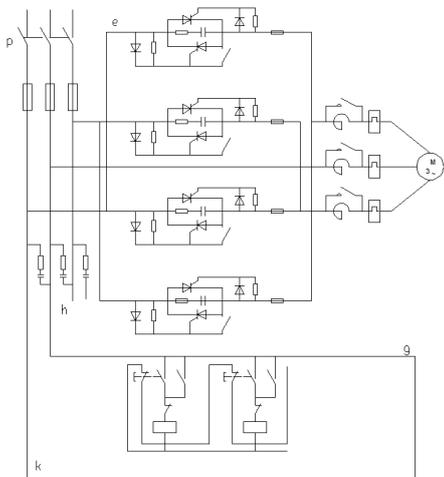


图 11-102 复制组合图形 5

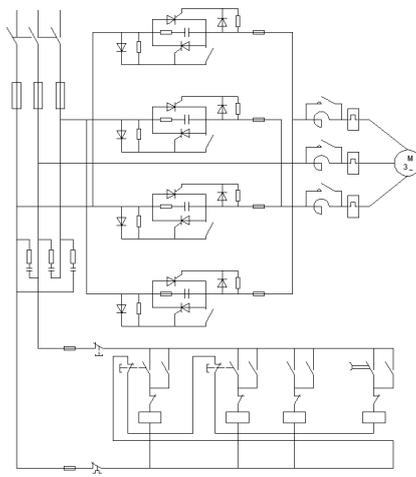


图 11-103 完成绘制

### 3. 使用文字编辑命令修改文字来得到需要的文字

添加注释文字后，即完成了整张图的绘制，如图 11-77 所示。

## 11.4 上机实验

【练习 1】绘制如图 11-104 所示的恒温烘房电气控制图。

### 1. 目的要求

恒温烘房电气控制图主要由供电线路、3 个加热区及风机组成。通过本练习，重点掌握恒温烘房电气控制图的详细绘制方法。

### 2. 操作提示

- (1) 绘制主要的连接线。
- (2) 绘制各主要电气元件。
- (3) 插入各电气元件。
- (4) 添加文字说明。

【练习 2】绘制如图 11-105 所示的数控机床控制系统图设计。

### 1. 目的要求

本练习绘制 SINUMERIK820 系统的系统图设计，包括调用绘图模板、设置文件图层、布局系统模块、注释系统模块、设计模块接口、注释模块接口、添加文字说明和填写

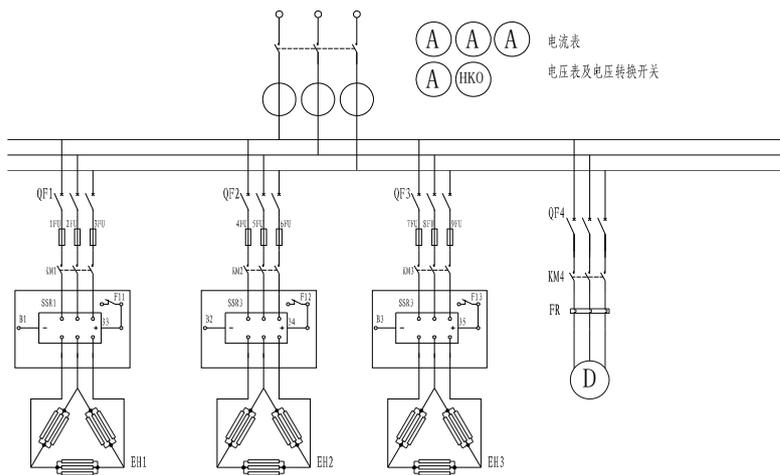


图 11-104 恒温烘房电气控制图

标题栏等具体步骤。通过本练习，使读者明白数控机床控制系统图的一般设计过程，该设计流程也可类推到其他型号的数控机床上。

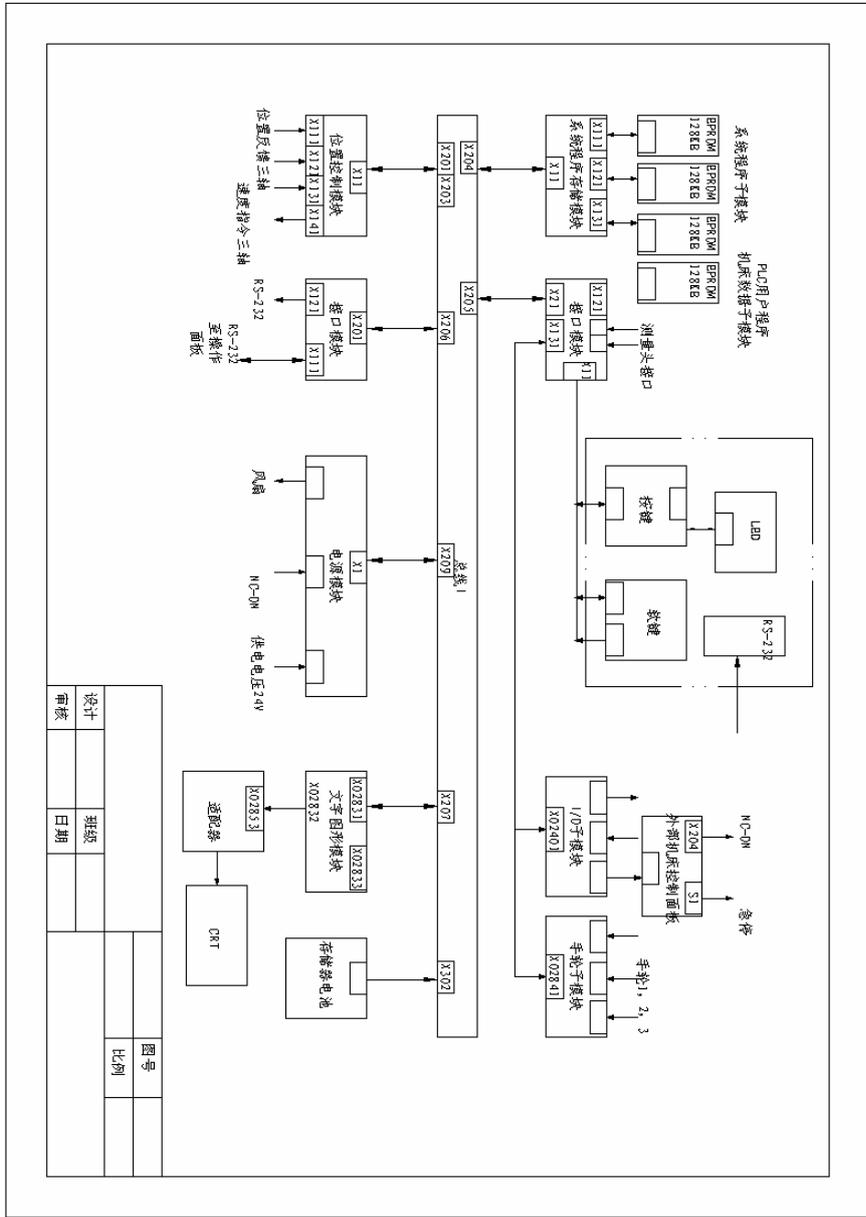


图 11-105 数控机床控制系统图设计

## 2. 操作提示

- (1) 配置绘图环境。
- (2) 绘制及注释模块。
- (3) 连接模块。
- (4) 添加文字说明。